

VARIASI TRANSPOR VOLUME DAN VARIABILITAS ARUS LAUT DI SELAT KARIMATA DAN GASPAR PADA TAHUN 2010-2014 BERDASARKAN MODEL NUMERIK

VARIATION OF VOLUME TRANSPORT AND VARIABILITY OF CURRENT IN KARIMATA AND GASPAR STRAITS DURING 2010-2014 BASED ON NUMERICAL MODELING

Iwan P. Anwar^{1*}, Mutiara R. Putri¹, dan Agus Setiawan²

¹Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

²Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumberdaya Manusia Kelautan dan Perikanan, KKP

*E-mail: iwan.p.anwar@gmail.com

ABSTRACT

Karimata Strait located between Kalimantan and Bangka Islands, while Gaspar Strait located between Bangka and Belitung Islands. Volume transport variations through Karimata and Gaspar Straits during 2010-2014 were studied using three-dimensional numerical model of HAMBURG Shelf Ocean Model (HAMSOM). Simulated area is located in 1°0'0"N - 4°30'0"N and 104°0'15"E - 110°30'0"E with a horizontal resolution of 0.5' (about 0.94 km). The correlations value of current velocity from model with observation is quite high i.e. 0.85 for zonal component (u) and 0.89 for meridional (v) with 95% of significance level. The results of signal analysis showed that the volume transport is strongly influenced by the seasonal period. In addition to seasonal wind, there was also weak and medium phase of El Niño and La Niña during 2010 - 2014 that affected volume transport. The average volume transport from 2010-2014 through Karimata and Gaspar Straits are -2.75 Sv and -1.98 Sv, respectively (1 Sv = 10⁶ m³/s). The negative value shows the southward volume transport, while positive to north. Total transport to south indicates that there are may be due to parts of Indonesia Through Flow (ITF) flow through South China Sea, Karimata Strait, and Gaspar Strait to the Java Sea.

Keywords: volume transport, Karimata Strait, Gaspar Strait

ABSTRAK

Selat Karimata terletak diantara Pulau Kalimantan dan Pulau Bangka, sementara Selat Gaspar terletak diantara Pulau Bangka dan Pulau Belitung. Variasi transpor volume yang melalui Selat Karimata dan Selat Gaspar selama tahun 2010-2014 dikaji dengan menggunakan model numerik tiga dimensi HAMBURG Shelf Ocean Model (HAMSOM). Daerah kajian yang disimulasikan terletak di 1°0'0"LS - 4°30'0"LS dan 104°0'15"BT - 110°30'0"BT dengan resolusi horizontal sebesar 0,5' (sekitar 0,94 km). Kecepatan arus hasil model memiliki korelasi yang besar dengan data pengukuran yaitu 0,85 untuk komponen zonal (u) dan 0,89 untuk komponen meridional (v) dengan tingkat signifikansi 95%. Dengan demikian hasil model dapat mewakili daerah kajian. Hasil analisis sinyal menunjukkan bahwa transpor volume di wilayah kajian sangat dipengaruhi oleh periode musiman. Selain angin musiman, pada periode 2010 – 2014 juga terjadi El Niño dan La Niña dengan fasa lemah dan fasa sedang yang memengaruhi transpor volume. Rata-rata transpor volume dari 2010-2014 yang melewati Selat Karimata dan Selat Gaspar secara berturut-turut adalah -2,75 Sv dan -1,98 Sv (1 Sv = 10⁶ m³/s). Tanda negatif pada transpor volume menunjukkan arah ke selatan dan positif ke utara. Arah transpor total ke selatan ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan terdapat bagian dari Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang melalui Laut Cina Selatan, Selat Karimata, dan Selat Gaspar menuju Laut Jawa.

Kata kunci: transpor volume, Selat Karimata, Selat Gaspar

I. PENDAHULUAN

Perbedaan elevasi muka air laut antara Samudra Pasifik bagian barat dengan Samudra India wilayah timur laut (*Northeast Indian Ocean*) yang menyebabkan terjadinya aliran massa air yang berasal dari Samudra Pasifik menuju Samudra India melalui perairan Indonesia. Aliran massa air tersebut dikenal sebagai Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang melewati Selat Makassar sebagai jalur utama (Pranowo *et al.*, 2005). Selain Selat Makassar, Selat Karimata juga merupakan salah satu jalur Arlindo (Susanto *et al.*, 2013). Arlindo dapat dipengaruhi oleh fenomena yang terjadi di Samudra Pasifik seperti ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) atau IOD (*Indian Ocean Dipole*) di Samudra India. Di Selat Makassar Arlindo menguat pada kondisi La Niña dan melemah ketika El Niño (Gordon *et al.*, 2012).

Variasi Arlindo di Selat Makassar dan kondisi variasi arus di Laut Jawa dapat saling mempengaruhi. Secara umum, sistem arus di Laut Jawa dominan dipengaruhi oleh sistem angin musim. Ketika musim barat, arus cenderung ke tenggara atau timur di Laut Jawa, sedangkan ketika musim timur arus bergerak ke barat laut atau barat di Laut Jawa (Gordon *et al.*, 2012). Kondisi tersebut juga terjadi di Selat Karimata yaitu pada musim barat arus bergerak ke selatan dan ketika musim timur arus bergerak ke utara (Susanto *et al.*, 2013).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui variasi arus dan transpor volume yang melalui Selat Karimata yaitu Fang *et al.* (2010), Susanto *et al.* (2013), Setiawan *et al.* (2015) dan Prihatiningsih (2014).

Sebagian besar penelitian tersebut melakukan analisis berdasarkan hasil pengamatan lapangan. Pada penelitian ini variasi transpor volume yang melalui Selat Karimata dan Selat Gaspar dikaji dengan menggunakan hasil model numerik selama tahun 2010-2014.

II. METODE PENELITIAN

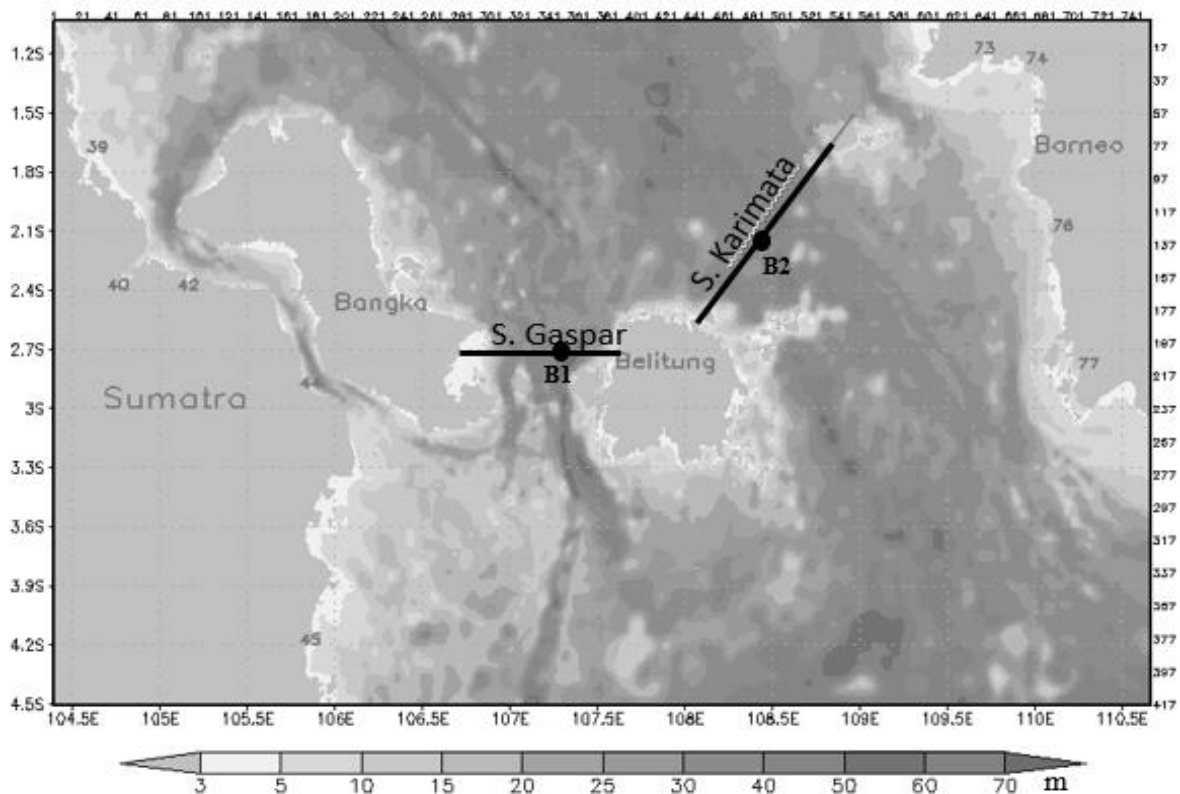
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada 1 Januari 2010 – 31 Desember 2014 di wilayah perairan Selat Karimata serta Selat Gaspar (Gambar 1). Secara geografis Selat Karimata terletak antara Pulau Kalimantan dan Pulau Bangka, sedangkan Selat Gaspar terletak diantara Pulau Bangka dan Pulau Belitung. Kedalaman maksimum pada Selat Karimata adalah 34,5 m dan pada Selat Gaspar adalah 31,5 m (Putri, 2015).

2.2. Desain Model

Penelitian ini menggunakan hasil dari simulasi model hidrodinamika 3D *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM). Model tersebut merupakan model baroklinik yang menggunakan persamaan dasar dengan permukaan bebas dan dua langkah waktu yang didefinisikan dalam koordinat- z dengan menggunakan *grid* Arakawa-C. Model ini menggunakan skema semi-implisit sehingga memberikan keleluasaan pada kriteria stabilitas dibanding dengan formulasi eksplisit. Model disimulasikan dengan dua skenario, yaitu model besar oleh Mayer *et al.* (2015) dan model kecil oleh Putri (2015). Domain model besar meliputi seluruh perairan Indonesi dan Asia tenggara. Sementara itu, domain model kecil meliputi perairan Selat Karimata, Selat Gaspar dan Selat Bangka. Mengkaji transpor volume di Selat Karimata dan Selat Gaspar digunakan model teknik bersarang yang dilakukan oleh Putri (2015) dan diproses lebih lanjut pada penelitian ini.

HAMSOM digunakan untuk mensimulasikan daerah model besar dari 11°LU-12°LS dan 92°-132°BT dengan resolusi 6' (Mayer *et al.*, 2015). Model tersebut menyertakan gaya pembangkit angin permukaan, densitas air laut, dan anomali tinggi muka air yang diperoleh dari model global *Max Planck Institute Ocean Model*-MPIOM (Mayer *et al.*, 2015).



Gambar 1. Peta domain model kecil dan transek Selat Karimata dan Selat Gaspar serta posisi *mooring* B1 dan B2.

Mengkaji transpor volume di daerah $1^{\circ}12'0''$ LS - $4^{\circ}30'0''$ LS dan $104^{\circ}24'0''$ E - $110^{\circ}30'0''$ E digunakan teknik model bersarang dengan resolusi horizontal $0,5'$ (Putri, 2015). Kedalaman maksimum perairan yang disimulasikan adalah 70 m yang dibagi ke dalam 23 lapisan dengan interval 3 m. Pada batas terbuka model kecil tersebut diberi *input* elevasi permukaan laut, temperatur, dan salinitas yang diperoleh dari model besar oleh Mayer *et al.* (2015). Selain itu, pada syarat batas terbuka juga diberi *input* elevasi pasang surut yang diperoleh dari model global TPX07 TOPEX/Poseidon dengan 12 komponen pasut utama, yaitu $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_f, M_m, SSA, M_4, MS_4$ dan debit sungai tahun 2009-2014 (Putri, 2015). Domain model kecil ditunjukkan Gambar 1.

2.3. Verifikasi Model

Sebelum hasil model hidrodinamika digunakan untuk menghitung transpor vo-

lume, terlebih dahulu dilakukan verifikasi data kecepatan arus hasil model dengan hasil pengukuran lapangan. Verifikasi dilakukan dengan melihat vektor arah dan besar arus hasil model dan hasil pengukuran lapangan. Kemudian dilakukan analisis statistik korelasi Pearson antara kecepatan arus model dan hasil pengukuran lapangan.

Analisis statistik korelasi dihitung menggunakan Persamaan 1, berikut (Trauth, 2010):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: r adalah koefisien korelasi; x dan y adalah variabel yang akan diuji; n adalah jumlah data.

Analisis korelasi digunakan untuk melihat hubungan antara data dan model. Nilai koefisien korelasi (r) berkisar antara -1

sampai dengan 1. Jika data dan model memiliki korelasi positif maka data dan model memiliki hubungan searah. Sementara itu, apabila data dan model memiliki korelasi negatif maka hubungan data dan model adalah berlawanan arah. Selain untuk melihat hubungan data dengan model, korelasi juga digunakan untuk melihat hubungan satu fenomena dengan fenomena lainnya. Dalam hal ini, korelasi digunakan untuk melihat hubungan transpor volume dengan fenomena ENSO atau kecepatan angin.

Setelah dilakukan analisis korelasi selanjutnya dilakukan uji signifikansi. Hal tersebut bertujuan untuk memberikan peluang benar dan peluang salah dari hasil korelasi. Hal ini koefisien korelasi dapat dikatakan signifikan jika hasil t hitung lebih tinggi dari $t_{critical}$ ($n-2$ dengan derajat kebebasan 0,05). Artinya jika t hitung memenuhi maka hasil dari r berpeluang benar 95% dan berpeluang salah 5%. Persamaan 2 digunakan untuk menghitung t adalah sebagai berikut (Trauth, 2010):

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \dots\dots\dots (2)$$

2.4. Perhitungan Transpor Volume

Transpor volume dihitung dengan cara mengalikan kecepatan arus dengan luas penampang yang dilewati oleh arus. Transek yang digunakan untuk menghitung transpor di Selat Karimata dan Selat Gaspar ditunjukkan oleh garis hitam pada Gambar 1. Kedalaman maksimum Selat Karimata dan Gaspar pada transek garis hitam (Gambar 1.) mencapai 34,5 m dan 31,5 m. Dengan interval kedalaman 3 m maka ukuran tiap *grid* penampang selat adalah 925 m (dx) dan 3 m (dz).

Total transpor volume dihitung di setiap *grid* penampang, kemudian dijumlahkan dari permukaan sampai dasar. Pada setiap *grid* transpor volume dihitung dengan kecepatan arus rata-rata bulanan. Persamaan 3 (Fang *et al.*, 2010) digunakan untuk menghitung total transpor volume.

$$Q(t) = (\sum_{i=1}^n \bar{v}_i \cdot dA_i)(t) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: $Q(t)$ adalah volume transpor volume, fungsi waktu (m^3/s) atau ($Sv=10^6 m^3/s$); \bar{v}_i adalah kecepatan arus rata-rata terhadap kedalaman untuk setiap lapisan di *grid* ke- i fungsi waktu (m/s); dan dA_i adalah luas penampang *grid* ke- i (m^2).

2.5. Transformasi Fourier

Salah satu metode untuk melakukan analisis deret waktu adalah Transformasi Fourier. Itu adalah sebuah metode untuk mentransformasi suatu data deret waktu menjadi suatu deret frekuensi/periode. Transformasi Fourier yang digunakan dalam penelitian ini memilih algoritma (FFT) *Fast Fourier Transform* (Cooley dan Tukey, 1964). Menggunakan algoritma FFT perhitungan dipercepat dari N^2 menjadi $N \log N$ dengan N adalah jumlah data. Algoritma FFT diterapkan dalam *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang ditunjukkan oleh Persamaan 4, sebagai berikut (Cooley dan Tukey, 1964):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{\frac{-2\pi i}{N}nk} \\ k = 0, 1, \dots, N-1 \dots\dots\dots (4)$$

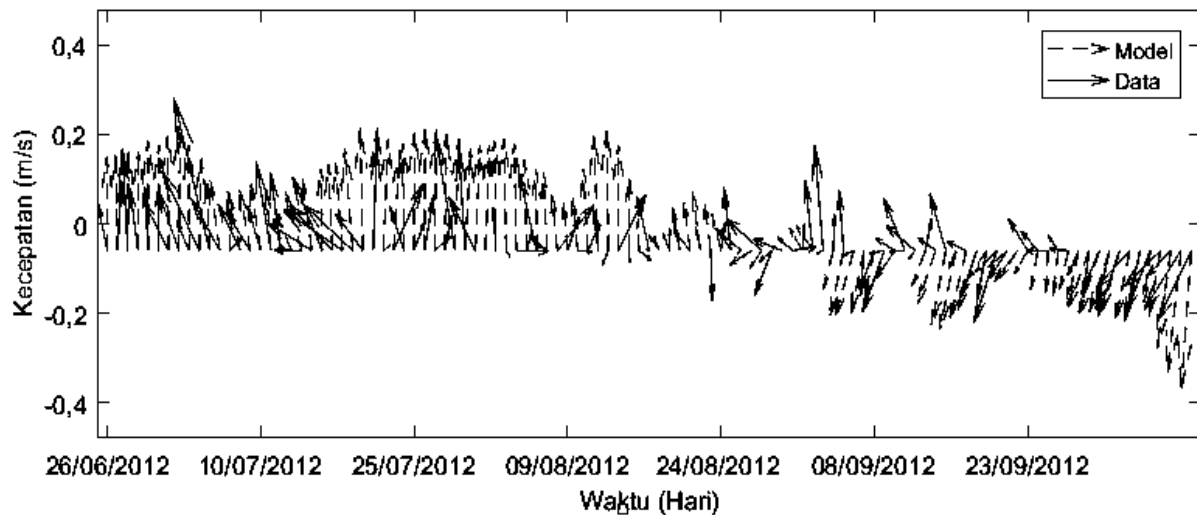
Keterangan : x_n adalah data dalam domain waktu; X_k adalah data dalam domain frekuensi.

Analisis deret waktu pada penelitian ini diterapkan pada fenomena transpor volume dan kecepatan angin di daerah kajian. Hal tersebut berguna untuk mengkaji variasi dari sisi periodenya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Verifikasi Hasil Model

Verifikasi arus hasil model dilakukan terhadap data hasil pengukuran *mooring Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) yang diperoleh dari program *The South China Sea Indonesian Seas Transport/*



Gambar 2. Vektor arus model dan data pada lapisan permukaan di *mooring* B2.

Exchange – SITE (Rahman, 2013; Setiawan *et al.*, 2015). Data tersebut berasal dari dua *mooring* yaitu B2 yang terletak di Selat Karimata dan B1 yang terletak di Selat Gaspar (Gambar 1.) dengan koordinat berturut-turut adalah 108,25° BT dan 2,28° LS serta 107,25° BT dan 2,58° LS. Data arus yang digunakan mulai dari tanggal 26 Juni – 10 Oktober 2012.

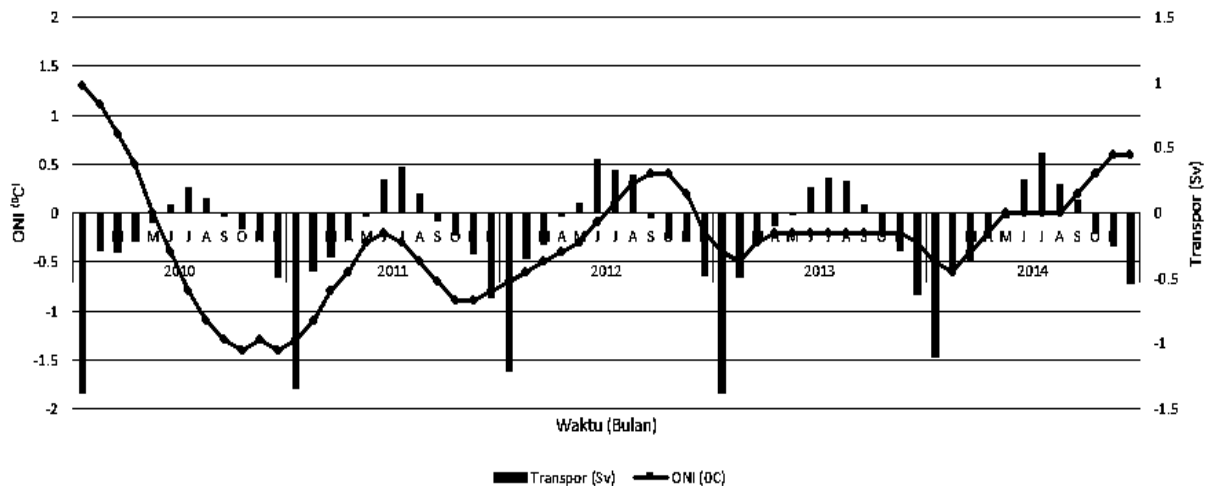
Arus hasil simulasi model dengan arus hasil pengukuran pada titik B1 dan B2 menunjukkan kesesuaian besar dan arah. Gambar 2 menunjukkan kesesuaian besar dan arah vektor arus antara model dan data lapangan di *mooring* B2. Hal tersebut juga didukung dengan rata-rata korelasi data dengan model di titik B2 untuk arus zonal adalah 0,85 dan meridional sebesar 0,89. Korelasi paling tinggi ditemukan di kedalaman 10,5 m yaitu 0,87 untuk komponen arus zonal dan 0,90 untuk meridional. Sementara itu, rata-rata korelasi arus zonal dan meridional pada titik B1 adalah sebesar 0,49 dan 0,78. Korelasi tertinggi pada titik B1 terdapat di kedalaman 13,5 m yaitu 0,61 untuk arus zonal dan 0,83 untuk arus meridional. Hasil luaran dari model hidrodinamika dapat digunakan dalam menghitung transpor volume dan analisis arus di daerah kajian.

3.2. Variasi Transpor Rata-Rata Bulanan Selama Tahun 2010-2014

3.2.1. Transpor di Selat Karimata

Secara umum, data deret waktu transpor di Selat Karimata selama tahun 2010-2014 menunjukkan variasi musiman. Transpor maksimum ke selatan terjadi di bulan Januari, sedangkan transpor maksimum ke utara pada bulan Juli.

Ketika musim barat transpor mengalir ke selatan. Kejadian El Niño yang bersamaan dengan musim barat menyebabkan penguatan transpor ke selatan dibanding kondisi normalnya seperti pada bulan Januari tahun 2013. Hal ini disebabkan oleh melemahnya transpor Arlindo di Selat Makassar pada saat El Niño (Gordon, 2005) dan musim barat (Atmadipoera *et al.*, 2016). Dengan demikian transpor dari Selat Karimata hingga ke selatan Selat Makassar yang melalui Laut Jawa cenderung lebih kuat ke selatan dibanding kondisi normalnya (Gordon *et al.*, 2012). Sementara itu, La Niña yang bertepatan dengan musim barat menyebabkan pelemahan transpor ke selatan dibanding kondisi normalnya seperti pada bulan Juli tahun 2013. Hal itu dapat terjadi karena transpor dari Selat Karimata lalu ke Laut Jawa hingga ke selatan Selat Makassar tertahan oleh aliran yang berada di lapisan permukaan (0-45 m) (Gordon *et al.*, 2012).



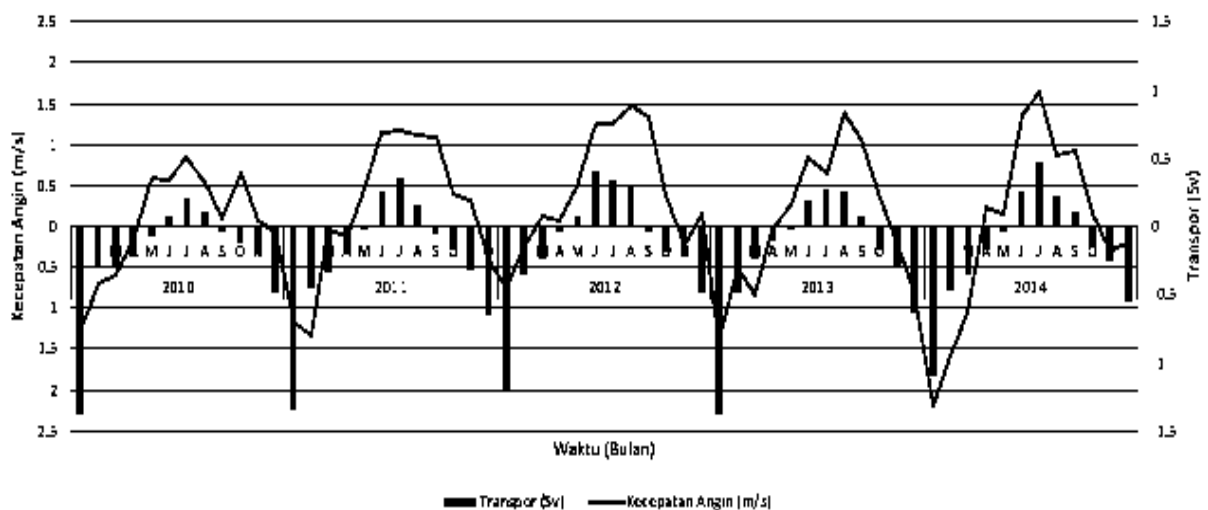
Gambar 3. Total transpor volume di Selat Karimata (batang) dan *Ocean Nino Index* (garis).

Ketika musim barat (Januari – Maret 2010) terjadi El Niño dengan fasa sedang. Besar transpor pada bulan Januari tahun 2010 adalah -1,38 Sv. Sementara itu, musim barat tahun 2011 terjadi La Niña dengan fasa sedang (Januari-Maret). Transpor rata-rata pada bulan Januari 2011 adalah sebesar -1,35 Sv. Ketika musim barat, perbedaan saat El Niño dan La Niña adalah sebesar 0,03 Sv.

Musim timur transpor bergerak ke utara, tetapi ketika musim timur bersamaan dengan La Niña, besar transpor ke utara lebih besar dari kondisi normalnya. Hal tersebut dapat dilihat pada bulan Juli 2011 (La Niña dan musim timur) dengan besar transpor

adalah 0,35 Sv. Sementara itu, saat normal dan musim timur (Juli 2013) besar transpor 0,27 Sv.

Tahun 2013 tidak ada kejadian El Niño atau pun La Niña, sehingga tahun tersebut dapat dijadikan tahun acuan kondisi normal. Besar transpor saat puncak musim barat (Januari) adalah -1,38 Sv sedangkan saat puncak musim timur (Juli) sebesar 0,27 Sv. Bulan Juli 2014, terjadi transpor terbesar ke utara sebesar 0,47 Sv dibanding tahun normal yang hanya sebesar 0,27 Sv. Hal tersebut disebabkan oleh kecepatan angin ke utara yang juga besar dibanding tahun-tahun yang lain (Gambar 4).

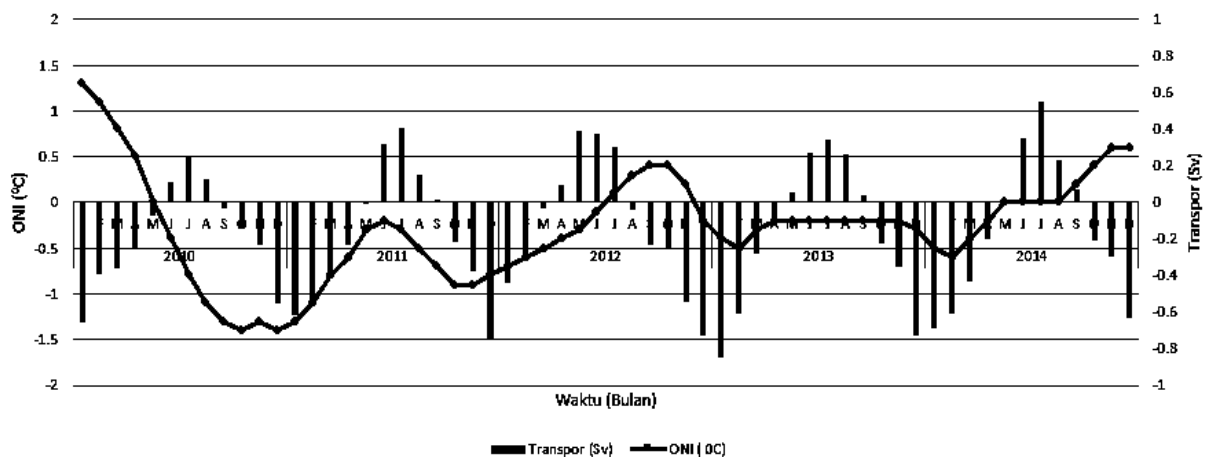


Gambar 4. Total transpor volume (batang) dengan kecepatan angin (garis) di Selat Karimata.

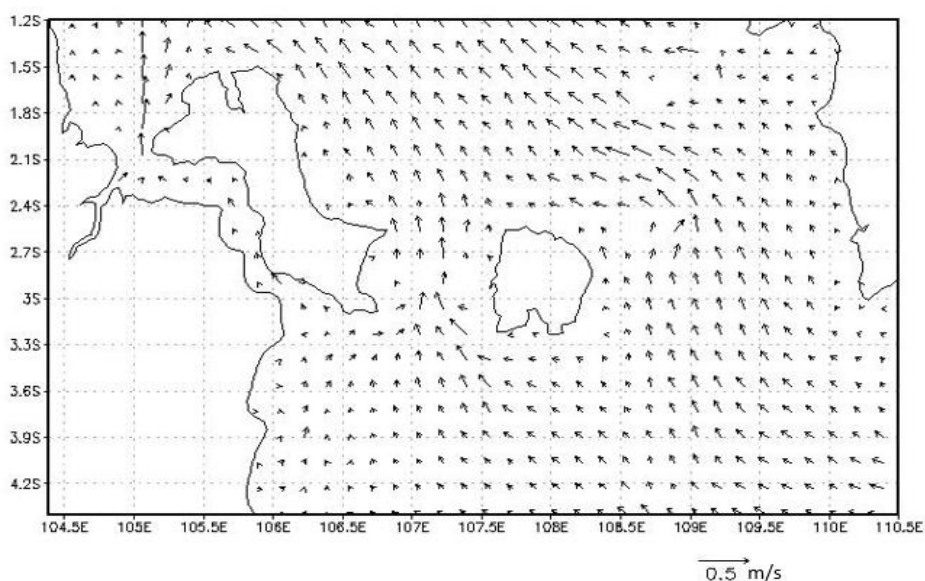
3.2.2. Transpor di Selat Gaspar

Musim barat di awal tahun 2010 hingga bulan Mei, terjadi El Niño dengan kategori sedang dan lemah. Hal ini menyebabkan transpor yang mengalir ke selatan menjadi lebih kecil saat musim barat. Hal ini disebabkan oleh melemahnya transpor Arlindo di Selat Makassar pada saat El Niño, sehingga transpor dari Selat Karimata (termasuk Selat Gaspar) hingga ke selatan Selat Makassar yang melalui Laut Jawa cenderung lebih kuat ke selatan dari kondisi normalnya (Gordon, 2005; Gordon *et al.*, 2012).

Saat musim barat tahun 2011 terjadi La Niña. Hal tersebut menyebabkan pelemahan transpor ke arah selatan. Itu disebabkan oleh menguatnya transpor Arlindo di Selat Makassar pada saat La Niña, sehingga transpor dari Selat Karimata (termasuk Selat Gaspar) hingga ke selatan Selat Makassar yang melalui Laut Jawa cenderung lebih lemah ke selatan dari kondisi normalnya (Gordon, 2005; Gordon *et al.*, 2012). Sebagai pembandingan saat terjadi El Niño transport volumen sebesar -0,66 Sv (Januari 2010) dan saat terjadi La Niña sebesar -0,62 Sv (Januari, 2011).



Gambar 5. Total transpor volume di Selat Gaspar (batang) dan *Ocean Niño Index* (garis).

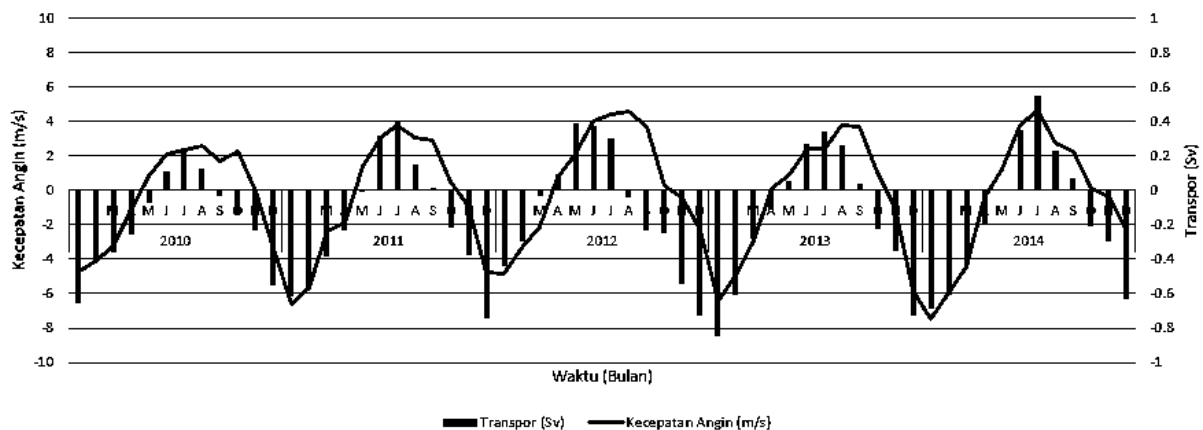


Gambar 6. Rata-rata vektor kecepatan arus permukaan bulan Juli.

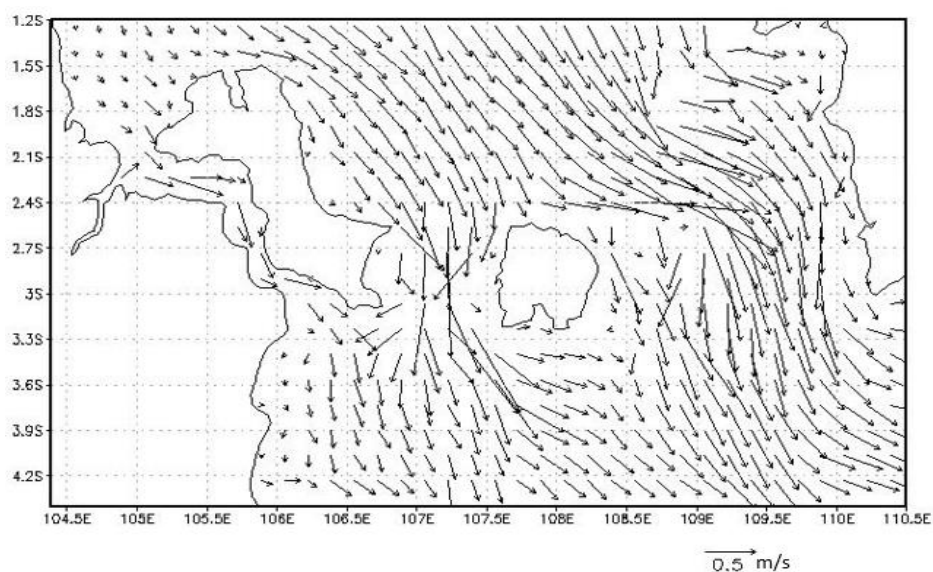
Musim timur transpor bergerak ke utara. Ketika La Niña terjadi penguatan transpor ke selatan di Selat Makassar (Gordon, 2005). Hal ini menyebabkan transpor yang melalui Selat Karimata (termasuk Selat Gaspar) menuju Laut Jawa dan Selat Makassar tertahan (Gordon *et al.*, 2012). Ketika musim timur yang bersamaan dengan La Niña, transpor di Selat Gaspar menguat ke utara, yaitu sebesar 0,41 Sv, dibanding saat normal sebesar 0,35 Sv.

Tahun 2010 besar transpor tiap bulan paling kecil jika dibanding dengan tahun-tahun yang lain. Hal ini diduga disebabkan oleh kecilnya kecepatan angin pada tahun

2010 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8. Kecepatan angin memiliki pengaruh yang besar pada kecepatan arus di wilayah perairan dangkal seperti Selat Karimata dan Gaspar (Prihatiningsih, 2014). Ketika puncak musim timur 2010 (Juli) transpor sebesar 0,25 Sv sedangkan saat 2014 (Juli) transpornya sebesar 0,55 Sv. Variasi bulanan kecepatan angin berpengaruh pada besar transpornya. Akan tetapi, setiap bulan pada musim peralihan dari musim timur ke musim barat, transpor massa selalu lebih dahulu mengalir ke selatan jika dibanding dengan arah anginnya, bahkan pada saat kondisi normal (tidak terjadi El Niño dan La Niña).



Gambar 8. Total transpor volume (batang) dengan kecepatan angin (garis) di Selat Gaspar.



Gambar 7. Rata-rata vektor kecepatan arus permukaan bulan Januari.

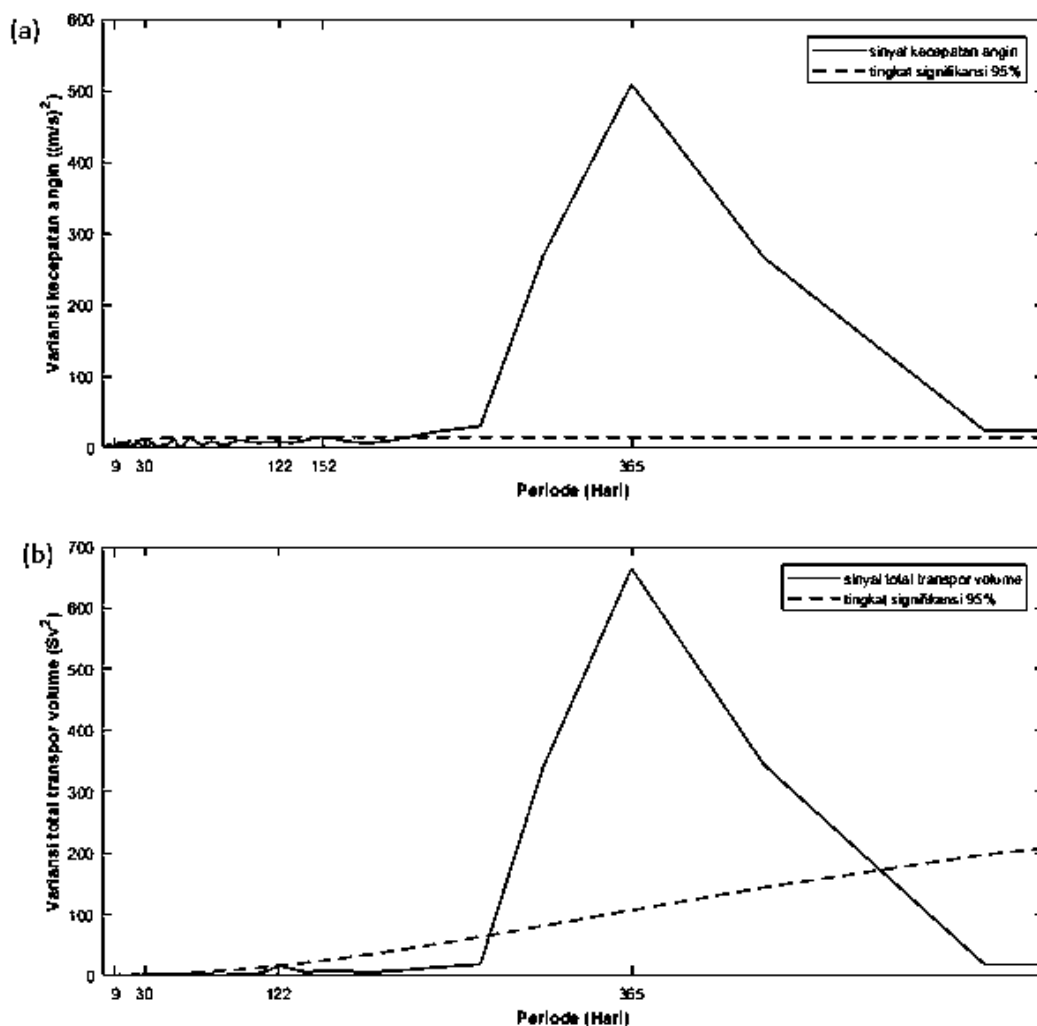
Pengaruh kecepatan angin dan ENSO terhadap transpor dapat dilihat dari nilai korelasinya. Hasil korelasi antara kecepatan angin dengan transpor di Selat Karimata dan Selat Gaspar berturut-turut adalah 0,85 dan 0,88 dengan tingkat signifikansi 95%. Sementara itu, korelasi antara ENSO dengan transpor di Selat Karimata dan Selat Gaspar berturut-turut adalah 0,084 dan 0,058 dengan tingkat signifikansi 95%. Hal tersebut menunjukkan bahwa transpor volume di Selat Karimata dan Selat Gaspar dipengaruhi kuat oleh kecepatan angin jika dibanding dengan ENSO (Gordon *et al.*, 2012; Prihatiningsih, 2014).

Hal tersebut juga diperlihatkan oleh Gambar 6 dan Gambar 7. Ketika puncak

musim barat (Januari) rata-rata arus di permukaan mengarah ke tenggara. Sementara itu, saat puncak musim timur rata-rata arus bergerak ke barat laut. Meski pengaruh ENSO terhadap transpor di Selat Karimata dan Selat Gaspar terbilang lemah namun tetap memberikan efek penguatan/pelemahan saat terjadi El Niño/La Niña sebesar -0,094 Sv/-0,009 Sv dan -0,13 Sv/0,051 Sv.

3.3. Analisis Sinyal

Analisis sinyal transpor volume dilakukan untuk melihat periode-periode dominannya. Berikut ini adalah hasil analisis sinyal dari transpor volume dan kecepatan angin di Selat Karimata yang ditunjukkan oleh Gambar 9.



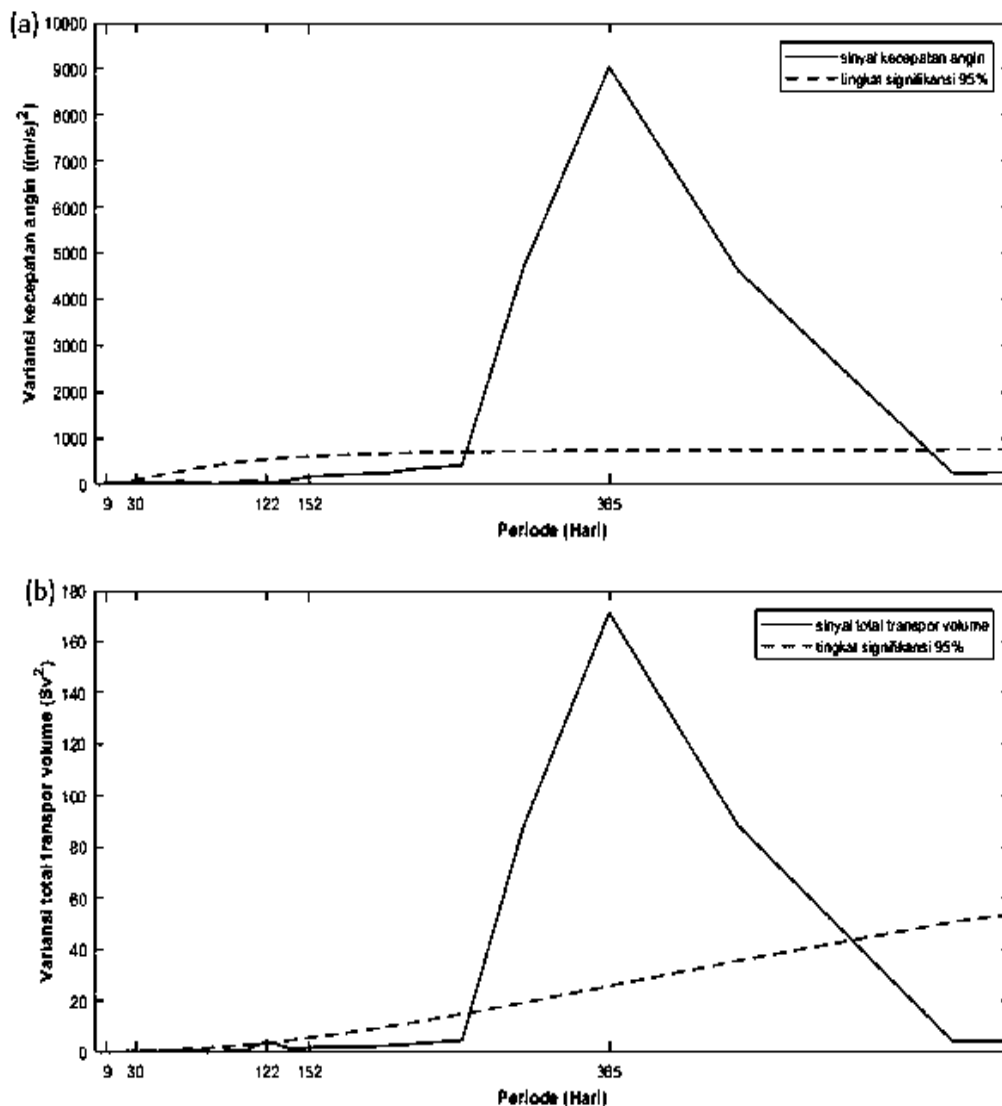
Gambar 9. Sinyal kecepatan angin (a) dan total transpor volume (b) di Selat Karimata.

Kecepatan angin di Selat Karimata dan Selat Gaspar diasumsikan merupakan pembangkit utama dari transpor volume. Hal tersebut berdasarkan pada kedalaman perairan tersebut yang masih terpengaruh kecepatan angin secara keseluruhan (Prihatiningsih, 2014).

Berdasarkan hasil Transformasi Fourier kecepatan arus permukaan di Selat Karimata (Gambar 9) dan Gaspar (Gambar 10) dapat diketahui bahwa periode dominan arus di kedua selat adalah 365 hari atau tahunan dengan tingkat signifikansi 95%. Untuk periode yang dibawah dari 365 hari dapat dikatakan tidak signifikan. Hal tersebut

dapat dilihat dari uji signifikansi yang ditunjukkan oleh Gambar 9 dan Gambar 10.

Periode 365 hari merupakan periode tahunan dari angin musim. Kekuatan dari periode tahunan tersebut sangat kuat sehingga periode-periode yang dibawah tahunan dinilai tidak signifikan terhadap total transpor. Hal ini juga senada dengan penelitian Fang *et al.* (2010), Susanto *et al.* (2013), Setiawan *et al.* (2015), dan Prihatiningsih (2014) yang menyebutkan bahwa variasi transpor volume dan kecepatan arus di Selat Karimata (termasuk Selat Gaspar) dipengaruhi kuat oleh variabilitas musim.



Gambar 10. Sinyal kecepatan angin (a) dan total transpor volume (b) di Selat Gaspar.

IV. KESIMPULAN

Korelasi nilai arus rata-rata kedalaman antara hasil model dan data pengamatan di Selat Karimata serta Selat Gaspar masing-masing sebesar 0,85 untuk komponen u dan 0,88 untuk komponen v serta 0,41 untuk komponen u dan 0,78 untuk komponen v . Hasil model yang dilakukan oleh Putri (2015) dapat digunakan dalam penelitian ini.

Rata-rata dari total transpor volume yang melalui Selat Karimata dan Selat Gaspar selama tahun 2010-2014 berturut-turut adalah -2,75 Sv dan -1,98 Sv. Hal ini menunjukkan selama kurun waktu tersebut ada transpor yang mengalir dari perairan Laut Cina Selatan menuju perairan Indonesia melalui Selat Karimata dan Selat Gaspar. Dengan demikian Selat Karimata dan Selat Gaspar kemungkinan besar memiliki peranan penting pada aliran Arlindo.

Pengaruh angin (ditinjau dari korelasi angin dan transpor) di Selat Karimata dan Selat Gaspar berturut-turut sebesar 84,85% dan 88,15%. Selain itu, pengaruh angin dapat dilihat dari hasil spektrum antara total transpor volume dan kecepatan angin yang memperlihatkan kesamaan periode dominan pada 365 hari. Sementara itu, di Selat Karimata dan Selat Gaspar pengaruh ENSO adalah 8,40% dan 5,80% dengan pelemahan saat La Niña (penguatan saat El Niño) -0,009 Sv (-0,094 Sv) dan 0,051 Sv (-0,13 Sv). Kemungkinan besar ENSO yang menyebabkan adanya ketidaksimetrisan total transpor volume di Selat Karimata dan Selat Gaspar. Simetris terjadi apabila total transpor volume memiliki rata-rata (selama 2010-2014) nol. Artinya total transpor volume yang mengalir ke utara dan ke selatan sama jumlahnya. Namun dalam hal ini tidak demikian.

Rata-rata transpor volume baik di Selat Karimata atau pun di Selat Gaspar tidak bernilai nol. Berarti meski faktor non-kecepatan angin tersebut tidak sangat dominan namun dapat mempengaruhi total transpor volume.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada *Project The South China Sea Indonesian Seas Transpor/Exchange – SITE* atas izin penggunaan data *mooring* ADCP. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada riset *Nested Model Technique on the Hydrodynamic model of Karimata Strait* yang didanai oleh *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD) atas izin penggunaan hasil model.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmadipoera, A.S., S.M. Horhoruw, M. Purba, dan D.Y. Nugroho. 2016. Variasi spasial dan temporal arlindo di Selat Makassar. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(1):299-320.
- Cooley, J.W. and J.W. Tukey. 1965. An algorithm for the machine calculation of complex fourier series. *J. Math. Comput.*, 19:297-301. doi:10.2307/2003354.
- Fang, G., R.D. Susanto, S. Wirasantosa, F. Qiao, A. Supangat, B. Fang, Z. Wei, B. Sulistiyo, and S. Li. 2010. Volume, heat, and freshwater transports from the South China Sea to Indonesian Seas in the boreal winter of 2007-2008. *J. of Geoph. Res.*, 115:1-11. doi:10.1029/2010JC00622.
- Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and their through-flow. *Oceanography*, 18(4):14-27.
- Gordon, A.L., B.A. Huber, E.J. Metzger, R.D. Susanto, H.E. Hurlburt, and T.R. Adi. 2012. South China Sea through flow impact on the Indonesian through flow, *Geoph. Res. Letters*, 39:1-7. doi:10.1029/2012GL052021.
- Mayer, B., T. Stacke, I. Stottmeister, and T. Pohlmann. 2015. Sunda shelf seas: flushing rates and residence times.

- Ocean Sci. Discuss.*, 12:863-895. doi:10.5194/osd-12-863 201.
- Pranowo, W.S., A.R.T.D. Kuswardhani, T.L. Kepel, U.R. Kadarwati, S. Makarim, S. Husrin. 2005. Ekspedisi INSTANT 2003-2005: menguak Arus Lintas Indonesia. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non-hayati. Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Departemen Kelautan dan Perikanan RI. 75hlm.
- Prihatiningsih, I. 2014. Simulasi arus musiman di Perairan Indonesia. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. 37 hlm.
- Putri, M.R. 2015. Nested model technique on the hydrodynamic model of Karimata Strait. DAAD Report. Deutscher Akademischer Austauschdienst. 5p.
- Rahman, A. 2013. Kondisi arus laut Selat Karimata tahun 20011-2012. Tugas Akhir. Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung. 57hlm.
- Setiawan, A., M.A. Rahman, M.R. Putri, T. Agustiadi, M. Trenggono, B. Priyono, Z. Wei, S. Li, and R.D. Susanto. 2015. Total transport of South China Sea – Indonesian Seas through the Karimata and Gaspar Straits based on the mooring data of SITE Project 2012 to 2014. In: Trenggono *et al.* (eds.). AOGS 12th Annual Meeting, 2-7 Agustus 2015, Singapore. 1-12pp.
- Susanto, R.D., W. Zexun, R.T. Adi, F. Bin, L. Shujiang, and F. Guohong. 2013. Observations of the Karimata Strait throughflow from December 2007 to November 2008. *Acta Oceanol. Sin.*, 32(5):1–6. doi: 10.1007/s131310130307-3.
- Trauth, M.H. 2010. MATLAB ® recipes for earth sciences. 3rd ed. SpringerVerlag GmbH. Berlin Heidelberg. 436p.
- Diterima* : 14 September 2017
Direview : 17 Oktober 2017
Disetujui : 04 Desember 2017